下村裕子*・栗山悦子*: ^{60}Co γ線照射食品の組織変化に関する研究 (3)** 非照射ジャガイモの芽の発育形態

Hiroko SHIMOMURA* & Etsuko KURIYAMA*: The morphological and histological effects of ^{60}Co γ-rays (3)**. The developmental structure of buds of potato tuber

(Plate VI)

さきにわれわれは ^{60}Co γ線照射により発芽抑制したジャガイモ休眠芽の主な変化部として生長点付近の組織変化の概略1) および照射処理有無の簡易な判定法2) について報告した。一方，照射線量の推定に関し生長点付近の組織変化の範囲の大小という観点から一部口頭発表3) したが，さらに照射時期，品種等との関係を検討し結論を得たので報告する。照射品と非照射品の間で，照射時期との関連の最も明確であった部分は芽を構成するりん片状の幼葉であったので，この部位の差異を主体とした内部形態を検討した。照射品の変形芽の形を記すには非照射品の正常な芽の発育を正確に把握しておく必要がある。そこで，本報では対照としての非照射品について観察した結果を報告し，照射品の変形芽については4報に，また応用という観点から過去の6年のデータを総括し，照射線量推定の検索表を続いて報告する。

実験の部

材料 下記に示した“男爵”および“農林1号”の2品種を用いた。

材料	栽培地	収穫日	材料の略号
男爵	千葉県香取郡	1971. 6. 7	71-6-D
	栃木県宇都宮	1974. 7. 10	74-7-D
	北海道札幌	1971. 9. 20	71-9-D
	〃	1972. 9. 16	72-9-D
	〃	1974. 9. 4	74-9-D
農林一号	北海道札幌	1971. 9. 20-25	71-9-N
	〃	1972. 9. 15	72-9-N
	〃	1974. 9. 27	74-9-N

---

* 東京薬科大学. Tokyo College of Pharmacy, Horinouchi, Hachioji, Tokyo, Japan.

** 本誌 48: 295-303 の (2) から続く. Continued from the second report in this Joural 48: 295-303, 1973.

1971年収穫品は既報²⁾と同一材料を用い，同年9月収穫品の休眠芽および休眠終了後の形態変化の過程D01*～4, N01*～4を示すものを12月2日70%エタノールに固定，保存しておいたものを芽形タイプの標準品として使用した。1972年収穫品は9月下旬入手直後から詳細に観察し得た。1974年9月収穫品は入手が遅れ，11月22日の入手時に“農林1号”品種はすでに一部休眠終了していた。

貯蔵　いずれも入手後直ちに15°Cの定温室内に貯蔵した。

方法　(1) 外部形態　発育の過程の概要は解剖顕微鏡下で観察した。

(2) 内部形態　観察の対象としてはイモの上半部分の，頂芽を除く6～7位迄のくぼみの中央の芽を用い，ジャガイモの塊茎を放射縦断する方向すなわち芽をもつくぼみ eye に対し垂直でかつ芽の生長点を通る切片を作成し，顕微鏡下で観察した。

標示　以下本文中に用いた材料の標示は前表の右欄に示したように収穫年，収穫月の数字と品種“男爵”(D)，“農林1号”(N) の略号とを組み合わせて71-6-D (1971年6月収穫の男爵)，74-9-N (1974年9月収穫の農林1号) のごとく標示する。

結果

既報で述べた休眠芽の形態変化 D01～D04, N01～N04 に相当する芽の縦断図を Figs. 2-11 に，これらのうち次報と特に関連のある D01～2, N01～2 の一部 (Fig. 中の□でかこんだ部分) の顕微鏡写真を Plate VI に示し，各芽の内部形態およびそれらを構成する幼葉の構造について説明する。

A〕 休眠芽の外部形態 (Fig. 1)

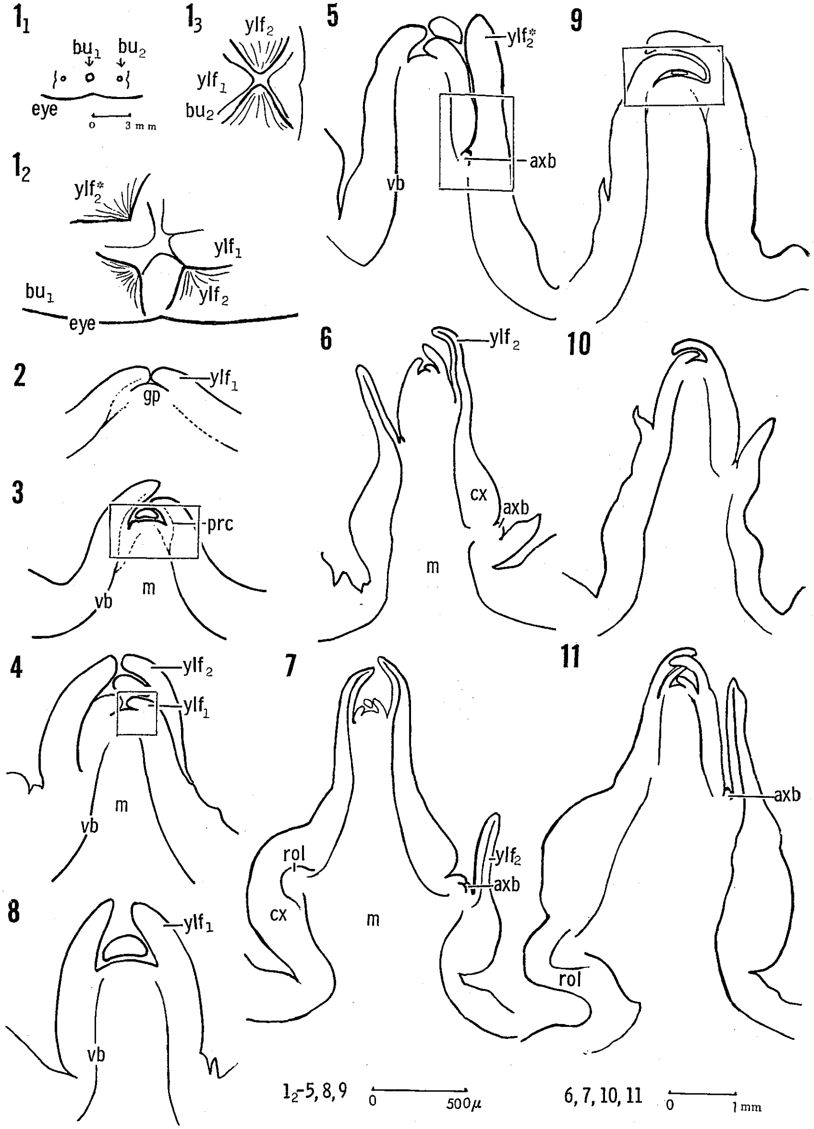
ジャガイモには約15個のくぼみが2/5葉序をなして並び，これらはイモの先端部では密に，基部に向かって次第に粗となる。それぞれのくぼみ (l_1-eye) には通例2～3～4個の休眠芽がある。くぼみの中央のもの (bu_1) は他に比べやや大きく，左右のもの (bu_2) はほぼ同大である。

上面視では中央の休眠芽 (l_2-bu_1) は外側に3～4枚の褐変しつつあるりん片状の幼葉 (ylf_2) (以下幼葉と称する) があり，その内側には3～5枚の白い幼葉 (ylf_1) を解剖顕微鏡下で認めることができる。最外位の幼葉 (ylf_2*) はくぼみに対しおおむね140°の位置にあり，休眠終了後にはこの幼葉に腋芽を生じ1つのくぼみには4個の芽が見られるようになる。くぼみ中央の休眠芽 (l_1, l_2-bu_1) の発育の過程を“男爵”および“農林1号”について以下に詳細に記す。

なお，両わきにある芽 (l_3-bu_2) は上面視ではほぼ対生を示す1対の幼葉 (ylf_2) お

---

* Dは“男爵”Nは“農林1号”の各品種を，また zero は照射しないもの，数字は芽の発達状態 (1: 休眠芽，2: 休眠終了後初期の芽，3: 芽の高さ約1.5mmで幼葉下部がふくらみ茎の節間のわずかな伸長の結果，肉眼で容易に芽として認められる。4: 茎の径約3mmとなり不定根のふくらみを認める) を示しこれらを組み合せてそれぞれの発育過程における形態の概要をのべた。



Figs. 1-11. Diagrams of top views (1_1-1_3) and of longitudinal sections (2-11) of dormant buds, and normal buds after the resting period. 2-7: "Danshaku". 8-11: "Norin No. 1". Abbreviations. axb: axillary bud. bu: bud. cx: cortex. gp: growing point. m: pith. prc: procambium. rol: lateral root. vb: vascular bundle. ylf: young leaf.

よびこれと十字対生位に1対の白い幼葉 (ylf_1) が見られ，後者のほぼ中心を通るよう縦断した切片 (Fig. 2) では生長点 (gp) をこの1対の幼葉 (ylf_1) が密接しておおう簡単な構造を示す。

B〕 休眠芽及び発育過程の芽の内部形態 (Figs. 3-11, Pl. VI)

〔B-1〕 男爵 D0

D01　既報[2] で外部形態上 D01 と表現した休眠芽には内部形態上2つの形（以下 $D01_1$, $D01_2$ と略称する）がある。

$D01_1$ (Fig. 3, Pl. VI, 3)　収穫後初期に見られる形態で，生長点 (Pl. VI, 3, gp) の一方の端には葉原基 (lpr) のふくらみ，他方にはこの葉原基の次に分化し始めた葉原基 (lpr') が，中心をややずれた部分の断面として見られる。(注：2/5 葉序であるため縦断切片において相対する1対の葉が，ともに中心を通ることはない。この点について〔D〕項で詳細に述べる。) 生長点上部にはこれらより以前に分化した幼葉の葉体の横断面 (ylf_1) さらにその外部を幼葉 (ylf_2) が左右からおおっている。この状態の芽では生長点から数層下部に芽の中心部すなわち髄 (m) があり，これをはさむ2条の前形成層条 (prc) は塊茎に向かって次第に発達した維管束 (Fig. 3, vb) となる。維管束条の左右の流れは木部の発達により「八の字」形としてきわ立って観察される。

$D01_2$ (Fig. 4, Pl. VI, 4)　休眠期間中に $D01_1$ から D02 への発達の過程に見られるもので $D01_1$ の葉原基 (Pl. VI, 3, lpr', lpr) は幼葉 (Pl. VI, 4, Fig. 4, ylf_1) へと発達し，これを1対の幼葉 (Fig. 4, ylf_2) がおおっている。幼葉 ($ylf_{1,2}$) の節間は多少伸長し，そのため髄 (m) をはさんだ左右の2条の維管束条 (vb) はほぼ平行となる。

D02 (Fig. 5, Pl. VI, 5)　休眠終了時にみられるもので $D01_2$ に類似するが，最外位にある幼葉 (Fig. 5, ylf_2*) はイモ表面にほぼ垂直となり幼葉の節間は前者に比し長く，外部形態上からも節を認めるようになり，腋芽 (Fig. 5, Pl. VI, 5, axb) を生ずるきざしがみられる。

D03 (Fig. 6)　休眠終了時のイモの頂芽およびこの時期以後に多く見られるもので生長点付近の幼葉の構成は前者とほぼ同じであるが，初期発達の外側の幼葉 (ylf_2) は著しく伸長，開出する。また節間は伸長増大し，特に芽の下半部では髄 (m) の径および皮層 (cx) の厚さを増す。腋芽 (axb) も明白となる。

D04 (Fig. 7)　生長点付近の構造は D03 とほぼ同じであるが，芽の下半部は径約5 mm の大きさとなり，髄 (m) および皮層 (cx) は D03 より増大し，皮層内に不定根のふくらみ (rol) を明らかに認める。また腋芽 (axb) をもつ幼葉 (ylf_2) の表皮には突出気孔が認められる。

〔B-2〕 農林1号 N0　前項"男爵"と異なる部分について記す。

N01 (Fig. 8)　$D01_1$ (Fig. 3) と同様の形態を示すものは 72-9-N の収穫初期に見

られた。休眠中に見られる芽は $D01_2$ (Fig. 4) と類似し芽の維管束条 (Fig. 8-vb) は平行であるが節が不明確であり生長点をおおう幼葉 (ylf_1) は長い。

N02 (Fig. 9, Pl. VI, 9)　D02 (Fig. 5) に類似するが生長点 (Pl. VI, 9, gp) をおおう幼葉 (ylf_1) は長い。

N03 (Fig. 10)　D03 (Fig. 6) とやや類似するが生長点をおおう幼葉数は少ない。

N04 (Fig. 11)　D04 (Fig. 7) に比べ芽の上半部分と下半部分の境は不明確でなだらかに移行する。腋芽 (axb) および不定根 (rol) のふくらみは明らかである。

C〕 幼葉の内部形態 (Pl. VI)

幼葉の縦断面における構造を $D01_1$～D02 について発達の順を追って記す。

発生初期の葉原基 lpr' (Pl. VI, 3, lpr')　生長点の最外層 (外衣第 1 層目) のうち，頂部から数細胞隔った垂層分裂の盛んな部位に加え，外衣第 2 層目の並層分裂にはじまり引き続き起こる不定方向への細胞の分裂により生じた 5～6 層のほぼ均一な小さい柔細胞とからなる。

葉原基 lpr (Pl. VI, 3, lpr)　生長点から明らかに独立したふくらみで最外層は生長点外衣第 1 層に続きその内側は細胞質をみたしたほぼ均一な小さな柔細胞からなり，前形成層 (prc) から続く細胞条を認める。葉原基下方の節間 (正しくは後に節間となる部分) の皮層 (cx) は 7～8 層の柔細胞からなる。

幼葉 ylf_1 (Pl. VI, 3, 4, ylf_1)　$D01_1$ の時期では表皮に囲まれた内部はほぼ均等な 4 層の柔細胞から成り，前形成層は不明確であるが，$D01_2$ の時期 (Fig. 4, Pl. VI, 4, ylf_1) となると，前形成層の細胞条 (prc) が明らかとなり，これを中心としてつぎの分化が起こる。向軸側の柔細胞は通例 2 層で前形成層に平行に長く，背軸側の柔細胞は通例 3～5 層でほぼ方形をなす。ただし表皮 (ep) に接する 1 層はやや扁平であり，節間に相当する部分の皮層 (cx) へと続く。

なお，$N01_1$, N02 の幼葉 (Pl. VI, 9, ylf_1) は構造上は $D01_2$ と同じであるが幼葉の長さは著しく長くしかも尖形の先端近く迄前形成層の細胞条 (prc) が発達している。

幼葉 ylf_2 (Pl. VI, 3, 5)　芽の最外層にある幼葉は $D01_1$ の時期 (Pl. VI, 3, ylf_2) には前形成層であったものが D02 (Pl. VI, 5, ylf_2) では導管をもつ維管束 (vb) へと発達している。向軸側の柔細胞は通例 2～3 層で維管束に平行してきわめて細長い。背軸側は 3～4 層の方形あるいはやや長方形の柔細胞で表皮下の 1 層は扁平である。

これら幼葉下部の節間相当部の表皮は著しい垂層分裂 (Pl. VI, 3, 5, a. d.) によりきわめて幅のせまい細胞からなる。

上記 $D01_1$～2, $N01_1$～2 の時期の幼葉には気孔，毛は認められない。D03, 4, N03, 4 の時期となると初期に発達し腋芽をもつ幼葉に 1～数個の気孔および毛を稀に認める。

D〕 各発育段階の縦断切片にみられる幼葉と葉序との関係 (Fig. 12)

次報照射品との対比を容易にするため〔A〕項で示した $D01_1$～D02 の形状と苗条に

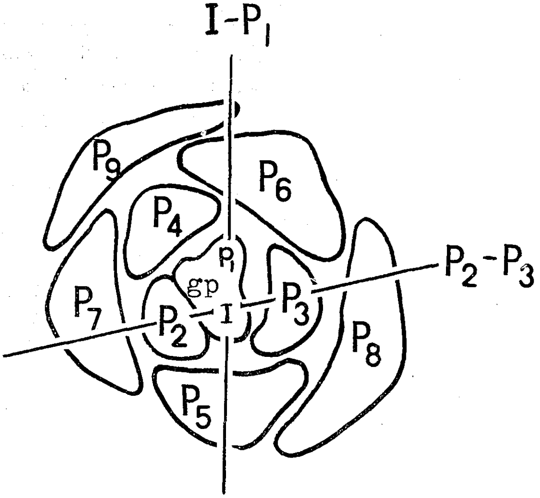


Fig. 12. Diagram of transverse section of shoot apex (after Sussex). I: initiation of a leaf. P_1: the youngest leaf, P_2: second younger leaf, etc. Lines I-P_1 and P_2-P_3 show the directions of longitudinal sections.

おける葉序との関係について L.M. Sussex の図を Fig. 12 に引用し述べる。図では発生初期の葉原基を I，明瞭な葉原基（最新生の葉）を P_1 とし以下葉位の進む順に P_2，P_3・・・・のごとく数を増して表わす。方法の項で示したくぼみに対し垂直に縦断する切片では D01$_1$ の時期ではほぼ I-P_1 面を示し，P_5，I，gp，P_1，P_6 の断面が，また D01$_2$ に発達したものでは P_2-P_3 面を示し P_7，P_2，gp，P_3，P_8 の断面がみられる。

E〕 各材料の休眠芽の様相 (Table 1)

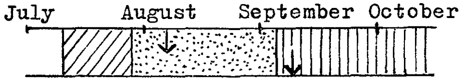
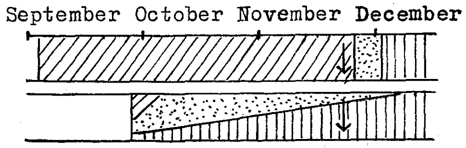
休眠終了期および休眠芽の形態 D01$_1$〜D02，N01$_1$〜N02 の経時的推移は次の (1)〜(3) の材料グループでそれぞれ特徴的であった。1974年のものを Table 1 に示す。

(1)　71-6-D，74-7-D　春収穫の“男爵”は収穫後初期の芽形は D01$_1$ であるが数週後には D01$_2$ となり休眠終了直前の8月下旬迄休眠期間の大半を D01$_2$ の形で経過し，いずれも9月上旬に休眠終了し D02 となる。

(2)　71-9-D，72-9-D，74-9-D　収穫後初期から休眠終了直前の11月上〜中旬迄 D01$_1$ の形態であり，D01$_2$ の形態を示す期間は短い。11月下旬から12月上旬にかけて D02 へ発達し休眠終了する。収穫初期ではむしろ頂芽の方が他に比べ小さく，休眠芽 D01$_1$ を示す時期には頂芽優勢の傾向は不明であるが，休眠終了期では明確に頂芽優勢の傾向を認める。

(3)　71-9-N，72-9-N，74-9-N　いずれも休眠終了期が不明確で，71-9-N について

Table 1.

Harvest	Abbreviation of samples	Relation between shapes of bud and storage months
Spring	74-7-D	
Autumn	74-9-D 74-9-N	

Period indicated by oblique lines: dormant bud which keeps the same form as the harvest time (D01$_1$, N01$_1$). By dots: dormant bud with a modified form at the later period of resting (D01$_2$, N01$_2$). By vertical lines: bud after the resting period. Arrows show the time of irradiation which will be reported in the forthcoming text.

すでに報告したように10月下旬～11月中旬～12月上旬などイモ個体によるバラツキが著しい。収穫後初期に72-9-NではN01$_1$を示したが，間もなくN01$_2$となり，収穫1ヶ月後の10月中旬ではすでに休眠終了しN02を示す芽もある。頂芽優勢の傾向も不明確である。

考察の部

(1) 幼葉の形態

(1-1) “男爵”, “農林1号” 両品種ともに幼葉に前形成層条を認め柔細胞が向，背軸への分化を示すのはL. M. SussexのP$_2$～P$_5$（又はP$_6$）に相当する幼葉である。

(1-2) 休眠芽D01$_1$でI, P$_1$であった葉原基や幼葉はD01$_2$でP$_2$, P$_3$へと，D02ではP$_3$, P$_4$へと発達している。P$_5$あるいはP$_6$はylf$_1$からylf$_2$への発達の過程であり，次報の変形芽のタイプと最も関連がある。

(2) 発芽抑制用材料としての品種

休眠期間が短く，休眠終了がイモ個々に対するバラツキが多い“農林1号”は発芽抑制のための照射用材料としては余り好ましくない。

謝辞 材料の入手の御便宜を計られた北海道大学水谷純也教授，照射に御協力を賜った理化学研究所松山晃博士に深謝致します。

引用文献

1) 下村・栗山： 植研 **45**(11)：343 (1970). 2) 下村・栗山・高居： 食衛誌 **13** (6)：531,536 (1972). 3) 下村・栗山： 第24回日本食品衛生学会講演要旨集 p. 27 (1972).

Summary

Histological structure of buds on non-irradiated potatoes, especially of their young leaves that show the greatest difference between irradiated and non-irradiated samples, was examined with two kinds of stocks, "Danshaku" and "Norin No. 1", in order to clarify the relation between the shape of deformed buds of irradiated samples and that of buds of non-irradiated tubers. The results of normal buds were seen as follows:

1) Longitudinal sections through the growing point of buds showed the following developmental stages of young leaves (Plate VI).

Leaf primordia (lpr) consisted of immature cells and had no procambium yet. Young leaf (ylf_1) consisted of procambium, unspecialized parenchyma and epidermis. Next young leaf (ylf_1) consisted of procambium, specialized parenchyma of adaxial and abaxial sides, and epidermis. More developed leaf (ylf_2) consisted of vascular bundle that originated from procambium of a young leaf (ylf_1) and parenchyma, and epidermal cells which stretch from its abaxial base to the internode were very narrow because of frequent anticlinal divisions.

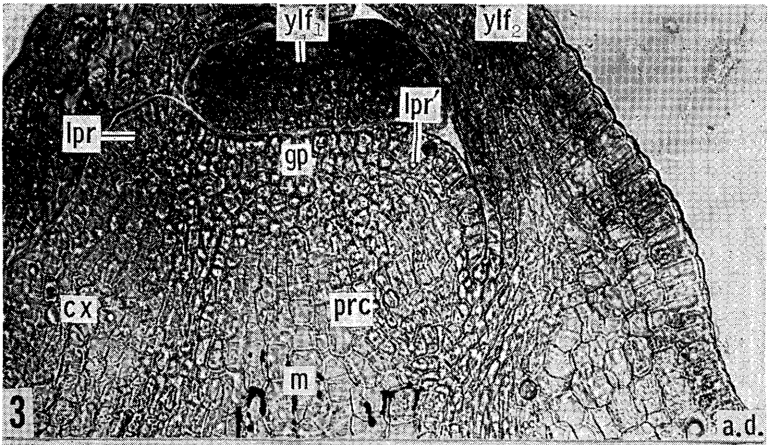
2) The sections showed the following developmental stages in dormant buds (Figs. 2-11, Pl. VI).

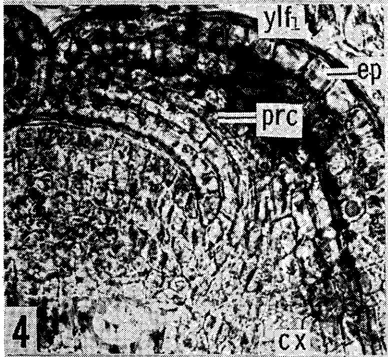
Dormant bud ($D01_1$, $N01_1$) had a pair of leaf primordia on both sides of growing point, and a young leaf (ylf_1) over them. Dormant bud ($D01_2$, $N01_2$) at a later stage of the resting period had a set of young leaves (ylf_1) over the growing point of a dome shape, and a set of more devloped leaves (ylf_2) over them (ylf_1), and its internode elongated more than that of $D01_1$. At the end of the resting stage (D02, N02) the internode elongated more than that of $D01_2$, and the outermost leaves (ylf_2*) became erect, and cortex of their base and internode increased in width.

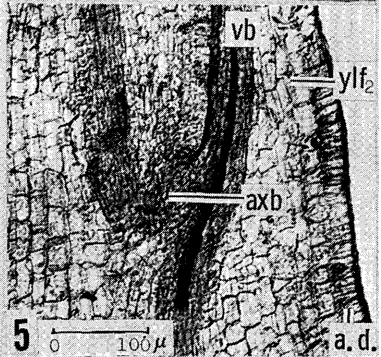
3) Each material showed different aspect of dormant bud during the resting period. "Danshaku" of autumn-harvest kept the same form of dormant bud as in the harvest time ($D01_1$ type) till just before the end of the resting period (Table 1).

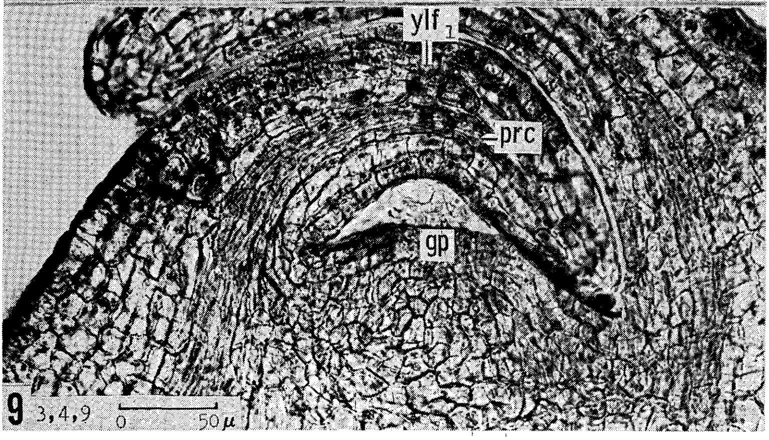
Explanation of Plate VI

Photographs 3, 4, 5 and 9 correspond to the areas outlined in text figures 3, 4, 5 and 9, respectively. Abbreviations: a. d., anticlinal division; lpr, leaf primordium; lpr', younger leaf primordium; for others see text figures.









H. SHIMOMURA & E. KURIYAMA: Morphological and histological effects of ^{60}Co γ-rays